



SKRIPSI – TK141581

**DESAIN SISTEM DAN KESTABILAN
BERDASARKAN STEADY-STATE MULTIPLE
CSTR**

Oleh :

Devanata Patria Kresna

NRP. 2311100115

Muhammad Arisyi Hawari

NRP. 2311100162

Dosen Pembimbing :

Prof. Ir. Renanto Handogo, Ms., Ph.D.

NIP. 1953 07 19 1978 03 1001

Juwari Purwo Sutikno, S.T., M.Eng., Ph.D

NIP. 1973 06 15 1999 03 1003

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015**



FINAL PROJECT – TK141581

**SYSTEM AND STABILITY DESIGN BASED ON
STEADY-STATE MULTIPLE CSTR**

By:

Devanata Patria Kresna

NRP. 2311100115

Muhammad Arisyi Hawari

NRP. 2311100162

Advisors:

Prof. Ir. Renanto Handogo, M.S., Ph.D.

NIP. 1953 07 191978 03 1001

Juwari Purwo Sutikno, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP. 1973 06 151999 03 1003

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015**

LEMBAR PENGESAHAN

“DESAIN SISTEM DAN KESTABILAN BERDASARKAN STEADY-STATE MULTIPLE CSTR”

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Oleh:

Devanata Patria Kresna
Muhammad Arisyi Hawari

2311 100 115
2311 100 162

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. Renanto H., MS., Ph.D. (Pembimbing I)
2. Juwari P.S., S.T., M.Eng., Ph.D. (Pembimbing II)
3. Dr. Ir. Kuswandi, DEA. (Penguji I)
4. Ir. Minta Yuwana, MS. (Penguji II)
5. Siti Zulaikah, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji III)



SURABAYA
JULI 2015

LEMBAR PERSETUJUAN

Penelitian skripsi dengan judul:

" DESAIN SISTEM DAN KESTABILAN BERDASARKAN STEADY-STATE MULTIPLE CSTR"

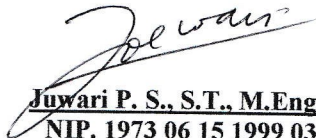
Telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan:

Dosen Pembimbing 1



Prof. Ir. Renanto H., MS., Ph.D.
NIP. 1953 07 19 1978 03 1001

Dosen Pembimbing 2



Juwari P. S., S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 1973 06 15 1999 03 1003

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses
Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS



Prof. Ir. Renanto Handogo, MS., Ph.D.
NIP. 1953 07 19 1978 03 1001

Penyusun:



Devanata Patria Kresna
NRP. 2311 100 115



Muhammad Arisvi Hawari
NRP. 2311 100 162

DESAIN SISTEM DAN KESTABILAN BERDASARKAN *STEADY-STATE MULTIPLE* CSTR

Nama Mahasiswa : Devanata Patria Kresna (2311 100 115)
Muhammad Arisyi Hawari (2311 100 162)
Jurusan : Teknik Kimia FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Renanto Handogo, MS., Ph.D.
Juwari Purwo S., ST., M.Eng., Ph. D.

ABSTRAK

Reaktor merupakan alat yang penting dalam industri kimia. Reaktor mengubah bahan baku menjadi produk dengan reaksi kimia. Desain dari sebuah reaktor tergantung pada banyaknya variabel. CSTR (*Continous Stirred Tank Reactor*) merupakan salah satu reaktor yang umum dalam industri. Volume CSTR tunggal yang besar dibutuhkan ketika konversi yang diinginkan besar namun reaktor CSTR yang dipasang secara seri mampu mengatasi masalah tersebut. Perubahan konversi intermediate akan merubah volume total *multiple* CSTR yang dipasang secara seri. Asumsikan bahwa volume reaktor yang kecil akan menghasilkan total biaya yang kecil, maka penelitian ini akan menentukan konfigurasi *multiple* reaktor CSTR dengan volume minimum dan melakukan analisa kestabilan steady-state pada masing-masing reaktor pada berbagai konfigurasi multiple reaktor secara grafis maupun secara analitis. Berdasarkan hasil simulasi, *multiple* CSTR dengan konfigurasi seri menghasilkan volume total reaktor yang paling kecil sedangkan rangkaian parallel menghasilkan volume terbesar. Hasil analisa kestabilan secara grafis menunjukkan jika grafik memiliki satu titik perpotongan maka titik tersebut stabil dan hasil analisa kestabilan secara analitis menunjukkan hal yang sama sedangkan jika grafik memiliki 3 titik perpotongan maka reaktor memiliki 2 titik yang stabil yaitu *upper* dan *lower* sedangkan titik bagian tengah tidak

stabil namun hasil analisa secara analitik menunjukkan bahwa hanya perpotongan pada bagian bawah yang stabil.

Kata Kunci: *steady-state*, Konversi Intermediate, *multiple* CSTR, kestabilan

SYSTEM AND STABILITY DESIGN BASED ON STEADY-STATE MULTIPLE CSTR

Student Names : Devanata Patria Kresna (2311 100 115)
Muhammad Arisyi Hawari (2311 100 162)
Department : Chemical Engineering FTI-ITS
Advisors : Prof. Ir. Renanto Handogo, MS., Ph.D.
Juwari Purwo S., ST., M.Eng., Ph. D

ABSTRACT

Reactor is an important equipment in chemical industry. Reactor converts raw material to be a product with chemical reaction. Design of reactor will depend on amount of the variable. One of the most common reactor in chemical industry is CSTR (*Continous Stirred Tank Reactor*). Big volume of single CSTR is needed when high level of conversion is desired but multiple CSTR in series is able to deal with that problem. The changing of intermediate conversion will change the total volume of mutiple CSTR in series. Assume that small volume of reactor will result low total cost, so this study will deteremine the configuration of multiple CSTR with minimum volume and perform an analysis of stability for each reactor on various kind of multiple reactor configuration by graphical analysis and analytical analysis. Based on the simulation, multiple CSTR with series configuration result smallest total reactor volume while parallel configuration result highest total reactor volume. Graphical analysis showed that the graph with one intersection is stable and analytical analysis showed the same result. If there are three intersection, the reactor has two stable point that is the lower and upper point but the middle point is unstable however the analytical analysis showed that only lower point is stable

Key Words: Steady-sate, Intermediate Conversion, Multiple CSTR, stability

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT karena berkat Rahmat-Nya yang telah memberi segala kemudahan dan kekuatan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Skripsi ini yang berjudul ” Desain Sistem Dan Kestabilan Berdasarkan *Steady-State* Multiple CSTR” yang merupakan salah satu syarat kelulusan bagi mahasiswa Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.

Keberhasilan penulisan Proposal Skripsi ini tidak lepas dari dorongan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Orang tua dan keluarga kami yang senantiasa memberikan dukungan moral, material, serta doa yang tiada hentinya.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng., selaku Kepala Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Bapak Prof. Ir. Renanto Handogo, MS., Ph.D selaku Kepala Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses dan Dosen Pembimbing Tugas Akhir 1 atas bimbingan dan saran yang diberikan.
4. Bapak Juwari Purwo Sutikno, ST., M.Eng., Ph.D. dan Bapak Prof. Ir. Renanto Handogo, MS., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir 2 atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
5. Bapak Setiyo Gunawan, ST., Ph.D. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia.
6. Bapak dan Ibu Dosen penguji dan seluruh Dosen pengajar atas sarannya.
7. Semua teman-teman seperjuangan Perdalpro *Crew*, Fritz, Marra, Hanna, Anggun, Indra, Marsha, Bondan, Syauqi, Firda, Nana, Ilham, Hasan, Cakra, Novan, Kang Gugum, Teh Nia, Alif, Firqi, Mbak Amal dan Mbak Ica, serta Pak Agus, Bu Shinta, Mas Sony, Mas Misfa, Mas Adit, Mbak

Atik, Mas David, Mas Daril, Mbak Arin, Mbak Dian, Mas Xavier yang membantu memberikan *support* dan keceriaan.

8. Andre, Arhanu, Afiat, Eldi, Hermawan, Reka, Sam, Ilham, Ridzki, Rendra, Rizal, Chafid, Happy, Kevin, Audit, Bhisma, dan Angkatan K51 yang lain atas *support*, doa, saran, dan hiburan yang diberikan.

Semoga segala kebaikan dan keikhlasan yang telah diberikan mendapat balasan dari Tuhan YME. Penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan dan untuk penelitian di masa yang akan datang.

Akhirnya semoga tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi Penulis dan Pembaca khususnya.

Surabaya, 16 Juni 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
LEMBAR PERSETUJUAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I	PENDAHULUAN.....I-1
	I.1 Latar Belakang.....I-1
	I.2 Rumusan Masalah.....I-2
	I.3 Batasan Masalah.....I-2
	I.4 Tujuan Penelitian.....I-3
	I.5 Manfaat Penelitian.....I-3
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA.....II-1
	II.1 Pengertian Laju Reaksi.....II-1
	II.2 Persamaan Laju Reaksi.....II-2
	II.3 Jenis-jenis Reaksi.....II-3
	II.4 Jenis-jenis Reaktor.....II-5
	II.5 <i>Reactor Performance</i>II-6
	II.6 Neraca Massa dan Energi CSTR.....II-7
	II.7 Reaksi Nitrogliserin.....II-8
	II.8 <i>Multiple CSTR</i>II-8
	II.9 Kestabilan Raktor Berpengaduk.....II-11
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....III-1
	III.1 Metode Penelitian.....III-1
	III.2 Penentuan Konfigurasi dengan Total Volume Reaktor Minimum.....III-4
	III.3 Properti Termodinamika.....III-4
	III.4 Analisa Kestabilan.....III-5
BAB IV	PEMBAHASAN.....IV-1
	IV.1 Volume Reaktor.....IV-1

	IV.2 Kestabilan CSTR.....	IV-4
BAB V	KESIMPULAN.....	V-1
DAFTAR PUSTAKA.....		xiii
DAFTAR NOTASI		xv
APPENDIKS A		
APPENDIKS B		

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Data Parameter Kinetik Reaksi Nitrogliserin.....	II-8
Tabel III.1	Data Kapasitas Panas dan Entalpi Pembentukan.....	III-5
Tabel IV.1	Hasil analisa kestabilan secara analitis Reaktor 1 seri.....	IV-6
Tabel IV.2	<i>Inflow</i> dan <i>Outflow</i> Reaktor 1 pada T operasi = 288 K, $X_g=0,8$	IV-7
Tabel IV.3	<i>Inflow</i> dan <i>Outflow</i> Reaktor 2 pada T operasi = 299 K, $X_g=0,95$	IV-9
Tabel IV.4	<i>Inflow</i> dan <i>Outflow</i> Reaktor 3 pada T operasi = 305 K, $X_g=0,99$	IV-10
Tabel IV.5	<i>Inflow</i> dan <i>Outflow</i> Reaktor 3 pada T operasi = 288 K, $X_g=0,9$	IV-12
Tabel IV.6	<i>Inflow</i> dan <i>Outflow</i> Reaktor 2 & 3 pada T operasi = 311 K, $X_g=0,97$	IV-13
Tabel IV.7	<i>Inflow</i> dan <i>Outflow</i> Reaktor 1 pada T operasi = 288 K, $X_g=0,9$	IV-15
Tabel IV.8	<i>Inflow</i> dan <i>Outflow</i> Reaktor 2 pada T operasi = 290 K, $X_g=0,99$	IV-16
Tabel IV.9	<i>Inflow</i> dan <i>Outflow</i> Reaktor 2 pada T operasi = 310 K, $X_g=0,99$	IV-18
Tabel IV.10	<i>Inflow</i> dan <i>Outflow</i> Reaktor 1, 2, dan 3 pada T operasi = 290 K, $X_g=0,99$	IV-19

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	<i>Batch Reactor</i>	II-5
Gambar II.2	<i>Plug Flow</i>	II-6
Gambar II.3	CSTR.....	II-6
Gambar II.4	<i>Unequal-Size CSTRs</i> secara seri.....	II-10
Gambar II.5	Representasi Grafis dari Dua CSTR secara seri.....	II-10
Gambar II.6	Laju Panas yang dilepaskan oleh reaksi terhadap reaksi eksotermis irreversible pada CSTR..	II-11
Gambar II.7	Plot <i>Q generation</i> dan <i>Q removed</i> vs Temperatur.....	II-13
Gambar III.1	Diagram Alir Penelitian Volume Reaktor Minimum.....	III-2
Gambar III.2	Diagram Alir Penelitian Kestabilan Reaksi.....	III-3
Gambar IV.1	Konfigurasi sistem CSTR seri.....	IV-1
Gambar IV.2	Konfigurasi sistem CSTR seri-paralel.....	IV-2
Gambar IV.3	Konfigurasi sistem CSTR Paralel-seri.....	IV-2
Gambar IV.4	Konfigurasi sistem CSTR Paralel.....	IV-3
Gambar IV.5	Grafik Kestabilan Reaktor pertama sistem Seri.....	IV-5
Gambar IV.6	Grafik Kestabilan Reaktor kedua sistem Seri.....	IV-8
Gambar IV.7	Grafik Kestabilan Reaktor ketiga sistem Seri.....	IV-9
Gambar IV.8	Grafik Kestabilan Reaktor pertama sistem seri-paralel.....	IV-11
Gambar IV.9	Grafik Kestabilan Reaktor kedua dan ketiga sistem seri-paralel.....	IV-12
Gambar IV.10	Grafik Kestabilan Reaktor pertama sistem Paralel-Seri.....	IV-14
Gambar IV.11	Grafik Kestabilan Reaktor kedua sistem Paralel-Seri.....	IV-15

Gambar IV.12	Grafik Kestabilan Reaktor ketiga sistem Paralel-Seri.....	IV-17
Gambar IV.13	Grafik Kestabilan Reaktor pertama, kedua, dan ketiga sistem Paralel.....	IV-18

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Satuan
A	Pre-Exponential factor	$L^{1-n-m}/(\text{mol}^{1-n-m} \text{ min})$
C	Konsentrasi	M
C_p	Kapasitas Panas mol kompen	$\text{kJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
C_v	Kapasitas panas reaktan	$\text{kJ L}^{-1} \text{ K}^{-1}$
ΔC_{Pd}	<i>Heat specific dari miced acid</i>	$\text{kJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
E	Energi Aktivasi	kJ/mol
F	Mol Flowrate	Mol/s
h	<i>Overall heat transfer coefficient</i>	$\text{kJ m}^{-2} \text{ K}^{-1} \text{ menit}^{-1}$
k	Konstanta laju reaksi	Satuan bergantung pada kinetik reaksi
k_0	Pre-exponential factor	s^{-1}
m	Orde reaksi terhadap asam nitrat	
M	Rasio konsentrasi awal asam nitrat terhadap gliserin	
n	Orde reaksi terhadap gliserin	
v_0	<i>Volumetric flowrate feed</i>	L/min
ΔH_r	Panas Reaksi	kJ/mol
ΔH_d	<i>Heat of Dilution</i>	kJ/mol
Q_G	<i>Heat Generation</i>	kJ/menit
Q_R	<i>Heat Removed</i>	kJ/menit
r	Laju reaksi	Satuan bergantung pada kinetik reaksi
R	<i>Universal Constant</i>	$\text{kJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

R_F	Rasio berat <i>mixed acid</i> terhadap gliserin	
R_N	Fraksi asam nitrat pada campuran asam nitrat dan asam sulfat (<i>mixed acid</i>)	
R_w	Fraksi air pada campuran air dan <i>mixed acid</i>	
S	Luas Jaket Pendingin	m ²
T	Temperatur	K
x	Konversi	

SIMBOL LATIN

λ	<i>eigenvalue</i>	
τ	<i>Resident time</i>	menit

SUBSCRIPT

a	Sistem pendingin
<i>a, b, c, d</i>	Indeks Komponen
AS	Asam Sulfat
f	Kondisi akhir
G	gliserin
N	Asam Nitrat
m	<i>Mixed Acid</i>
o	Kondisi awal
ref	Kondisi standar

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Dalam proses industri kimia, umumnya terdiri dari unit-unit proses kimia seperti reaktor kimia, kolom distilasi, *heat exchanger* dan lain sebagainya untuk memproses *raw material* dan energi yang masuk menjadi produk akhir.

Salah satu unit dalam proses industri kimia adalah reaktor. Reaktor kimia adalah suatu bejana tempat berlangsungnya reaksi kimia. Rancangan dari reaktor ini tergantung pada banyaknya variabel. Perancangan suatu reaktor kimia harus mengutamakan efisiensi kinerja reaktor sehingga didapatkan hasil produk dibandingkan *input* atau disebut konversi yang besar dengan biaya yang minimum, baik itu biaya modal maupun operasi. Tentu saja faktor keselamatan pun tidak boleh dikesampingkan. Biaya operasi biasanya termasuk besarnya energi yang akan diberikan atau diambil, harga bahan baku, upah operator, dan lain-lain.

Salah satu jenis reaktor yang digunakan dalam suatu industri adalah reaktor CSTR. Reaktor CSTR atau *Continuous Stirred Tank Reactor* merupakan jenis reaktor dengan model berupa tangki berpengaduk sehingga dapat dianggap konsentrasi dan suhu pada tiap komponen dalam reaktor seragam sebesar konsentrasi aliran yang keluar dari reaktor. Dalam operasinya, reaktor ini sering digunakan dalam jumlah lebih dari satu dengan rangkaian reaktor disusun secara seri maupun paralel.

Reaktor CSTR tunggal memiliki kekurangan salah satunya adalah ketika diinginkan konversi reaksi yang tinggi. Oleh karena itu, *multiple* CSTR sering diaplikasikan ketika reaksi dengan konversi yang tinggi diinginkan untuk mengurangi *capital investment*. Reaktor tersebut dapat memiliki volume yang berbeda-beda maupun sama. (Luyben, 2007)

Penentuan volume *multiple* reaktor yang optimum dapat menggunakan grafik dengan mengubah-ubah konversi intermediate dari reaksi tersebut namun dengan konversi akhir yang sama. (Levenspiel 1999)

Dalam beberapa tahun terakhir, permodelan dengan menggunakan simulasi telah banyak dilakukan dibandingkan dengan permodelan dengan percobaan. Hal ini diakibatkan peralatan yang digunakan membutuhkan biaya selain itu penjadwalan eksperimen di laboratorium menjadi hal yang sulit. (Palanki *et. al.*, 2003)

Salah satu factor yang mempengaruhi reaksi kimia adalah temperatur operasi. Untuk dapat beroperasi dengan stabil dibutuhkan temperatur operasi yang tepat sehingga reaktor stabil.

Oleh karena itu, penelitian kali ini akan ditentukan konfigurasi *multiple* reaktor CSTR menggunakan program MATLAB dengan mencari konfigurasi reaktor dengan volume minimum dengan asumsi bahwa volume reaktor yang kecil akan menghasilkan biaya yang kecil dan melakukan analisa kestabilan steady-state pada masing-masing reaktor pada berbagai konfigurasi multiple reaktor secara grafis maupun secara analitis.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang bisa didapatkan dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana mensimulasikan persamaan kinetik untuk reaktor CSTR agar didapatkan volume reaktor CSTR.
2. Bagaimana menganalisa kestabilan reaktor CSTR berdasarkan steady-state pada berbagai konfigurasi multiple reaktor.

I.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

- Reaktor yang digunakan yaitu CSTR dengan jumlah reaktor yaitu 3 reaktor dengan model *steady-state*

- Reaksi yang digunakan adalah reaksi pembuatan nitrogliserin dari gliserin dengan proses biazzi
- *Software* yang digunakan yaitu MATLAB 2007

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mensimulasikan sistem multiple CSTR untuk mendapatkan sistem multiple CSTR dengan volume total minimum.
2. Menganalisa kestabilan secara grafis dan analitis berdasarkan steady-state pada sistem multiple CSTR

I.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan hasil simulasi yang dapat digunakan untuk mendapatkan system multiple CSTR dengan volume total minimum.
2. Mendapatkan analisa kestabilan dari grafik dan analitis berdasarkan steady-state pada berbagai konfigurasi multiple CSTR.

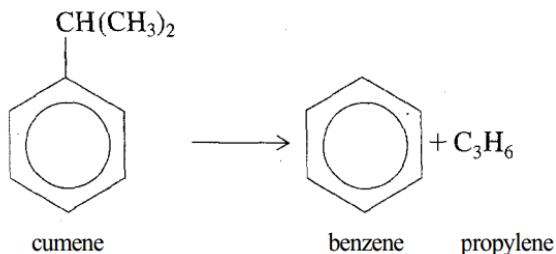
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

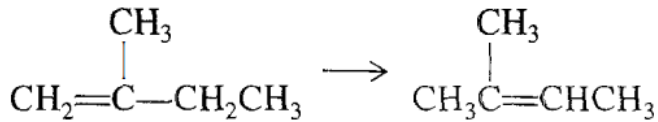
II.1 Pengertian Laju Reaksi

Laju reaksi, $-r_A$, didefinisikan sebagai jumlah mol yang bereaksi tiap waktu tiap satuan volume ($\text{mol}/\text{dm}^3.\text{s}$). Reaksi kimia dapat dikatakan telah terjadi jika sebuah senyawa/unsur kehilangan sejumlah molekulnya dan diasumsikan membentuk senyawa baru diakibatkan oleh perubahan sifat kimia atau jumlah atom dalam senyawa dan/atau perubahan pada konfigurasi atom tersebut. Terdapat tiga cara sebuah senyawa dapat kehilangan sifat kimianya. Cara pertama ialah proses dekomposisi, dimana sebuah molekul membentuk molekul yang lebih kecil atau atom. Sebagai contoh, jika molekul kumena terdekomposisi membentuk benzena dan propilena.



Cara kedua adalah melalui kombinasi antara satu senyawa dengan senyawa yang lain. Dalam contoh di atas, propilena dapat kehilangan sifat kimianya jika reaksi dilakukan dengan arah sebaliknya sehingga propilena digabungkan dengan benzena menjadi kumena.

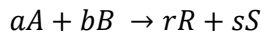
Cara ketiga adalah ketika terjadi proses isomerisasi seperti reaksi berikut



Pada contoh kasus di atas tidak terjadi penggabungan molekul-molekul maupun terdekomposisi menjadi senyawa yang lebih kecil namun senyawa tersebut kehilangan sifat kimianya karena mengalami perubahan konfigurasi.(Fogler, 1992)

II.2 Persamaan Laju Reaksi

Jika terjadi reaksi sebagai berikut :



Hubungan laju reaksi dari tiap-tiap senyawa/unsur menurut (Levenspiel, 1999) adalah

$$\frac{-r_A}{a} = \frac{-r_B}{b} = \frac{-r_R}{r} = \frac{-r_S}{s}$$

Secara matematis, Laju reaksi A dalam sistem tertutup dan volume konstan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$r = \frac{-da}{dt} \quad (\text{II-1})$$

jenis reaksi yang paling sederhana secara matematis adalah reaksi *irreversible first-order reaction*, dimana

$$r = k_1 a \quad (\text{II-2})$$

Oleh karena itu, laju berkurangnya A akan sebanding dengan konsentrasinya. k_1 merupakan konstanta laju reaksi orde satu dari reaksi. (Danckwerts, 1970)

(Levenspiel, 1999) menunjukkan bahwa laju reaksi dipengaruhi oleh komposisi dan energi. Sehingga dapat ditulis sebagai berikut :

$$-r_A = f \left[\begin{array}{c} \text{temperature} \\ \text{dependent} \\ \text{terms} \end{array}, \begin{array}{c} \text{concentration} \\ \text{dependent} \\ \text{terms} \end{array} \right] \xrightarrow[\text{as an example}]{\left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \right)^{1-a} \text{s}^{-1}} k C_A^a = k_0 e^{-\frac{E}{RT}} C_A^a$$

activation energy

reaction order

temperature dependent term

Temperature dependent-term, konstanta laju reaksi, ditunjukkan berdasarkan persamaan Hukum Arrhenius :

$$k = k_0 e^{-E/RT} \quad (\text{II-3})$$

Dimana :

k_0 = faktor pre-exponential

E = Energi Aktivasi

Untuk konsentrasi yang sama namun temperatur yang berbeda, persamaan arrhenius menjadi :

$$\ln \frac{r_2}{r_1} = \ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E}{R} \left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right] \quad (\text{II-4})$$

II.3 Jenis-jenis Reaksi

Berdasarkan fase yang terlibat dalam reaksi, reaksi dibagi menjadi dua yaitu *Homogenous Reaction* dan *Heterogenous Reaction*. (Perry, 1997)

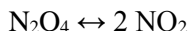
Homogenous Reaction merupakan reaksi yang hanya melibatkan satu fasa sedangkan *Heterogenous Reaction*

merupakan reaksi yang melibatkan lebih dari satu fasa, reaksi biasanya terjadi pada bagian *interface* diantara kedua fasa. (Fogler, 1992)

Berdasarkan mekanismenya, reaksi dapat digolongkan menjadi 4 macam yaitu *reversible reaction*, *irreversible reaction*, *Consecutive reaction*, dan *simultaneous reaction*. (Perry, 1997)

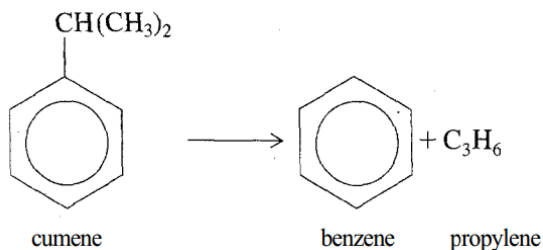
1. *Reversible Reaction*

Reversible reaction merupakan reaksi yang berjalan dua arah, contohnya ialah Reaksi dekomposisi Nitrogen Tetraoksida menjadi Nitrogen Doksida (Fogler, 1992).



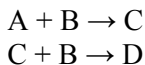
2. *Irreversible Reaction*

Irreversible Reaction merupakan reaksi yang berjalan secara kontinyu satu arah sampai reaktan habis. Contohnya yaitu reaksi dekomposisi senyawa kumena (Fogler, 1992).



3. *Consecutive Reaction*

Desain reaktor akan menjadi lebih sulit ketika *yield* dan konversi harus dipertimbangkan. Salah satu situasi yang terjadi yaitu ketika reaksi *consecutive irreversible* terjadi seperti berikut :



Dimana C merupakan produk yang diinginkan sedangkan D merupakan produk samping. Contoh proses yang mengalami *consecutive reaction* yaitu proses oksidasi. (Luyben, 2007)

4. *Simultaneous Reaction*

Simultaneous Reaction terjadi dengan cara yang hampir sama dengan *consecutive reaction* namun reaktan yang sama terlibat dalam dua reaksi yang terjadi secara bersamaan. *Yield* dari produk pada reaksi ini bergantung pada suhu reaktor dan kinetika dari reaksi (Luyben, 2007). Contoh dari reaksi ini adalah

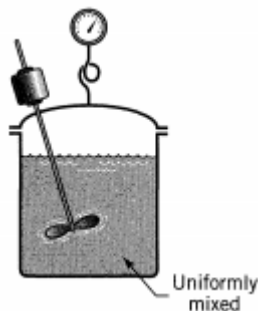


II.4 Jenis-jenis Reaktor

Reaktor dibagi menjadi tiga macam berdasarkan distribusi konsentrasinya yaitu *Batch Reaktor*, *Plug Flow Reaktor*, dan *CSTR (Continuously Stirred Tank Reactor)* (Perry, 1997).

1. *Batch Reaktor*

Pada reaktor jenis ini, reaktan akan dimasukkan satu kali, konsentrasi di dalam reaktor akan berubah tiap waktu namun sama di semua titik di reaktor (Perry, 1997).



Gambar II.1 *Batch Reaktor*

2. *Plug Flow* Reaktor

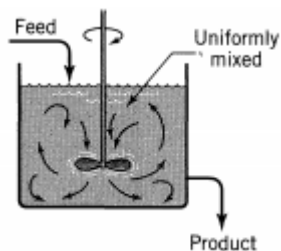
Pola aliran pada reaktor ini yaitu aliran *plug*. Hal ini ditunjukkan dengan fakta bahwa aliran fluida di sepanjang reaktor tidak terjadi pencampuran dengan aliran yang berada di depannya atau belakangnya (Levenspiel, 1999).



Gambar II.2 *Plug Flow* Reaktor

3. CSTR

Reaktor ini merupakan reaktor yang bagian dalamnya diaduk sehingga aliran keluar dari reaktor memiliki komposisi yang sama dengan komposisi dari fluida di dalam reaktor (Levenspiel, 1999).



Gambar II.3 *Continuous Stirred Tank* Reactor

II.5 *Reactor Performance*

Performa suatu reaktor dapat diukur melalui beberapa hal sebagai contoh reaksi biokimia, performa reaktor diukur berdasarkan hasil laboratorium karena hasilnya sulit untuk diprediksi secara teoritis.

Selain reaktor biokimia dan polimerisasi, performa reaktor diukur berdasarkan tiga hal (Robin Smith, 2005) yaitu :

$$\text{Konversi} = \frac{\text{Reaktan bereaksi}}{\text{Reaktan masuk}}$$

Selektivitas =

$$\frac{\text{Produk yang dihasilkan}}{\text{Reaktan yang bereaksi}} \times \text{faktor stoikiometri}$$

$$\text{Yield} = \frac{\text{Produk yang dihasilkan}}{\text{reaktan masuk}} \times \text{faktor stoikiometri}$$

II.6 Neraca Massa dan Energi CSTR

(Amundson,1955) menulis Neraca massa CSTR adalah

$$vC_{A0} - vC_A - VkC_A = V \frac{dC_A}{dt} \quad (\text{II-5})$$

Pada kondisi *steady-state* neraca massa CSTR menjadi

$$vC_{A0} - vC_A - VkC_A = 0 \quad (\text{II-6})$$

Neraca Energi CSTR adalah

$$vC_p(T_o - T) - VkC_A(\Delta H) - U(T - T_c) = VC_p \frac{dT}{dt} \quad (\text{II-7})$$

Pada kondisi *steady-state* neraca energi CSTR menjadi

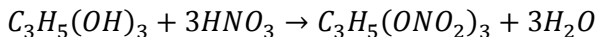
$$vC_p(T_o - T) - VkC_A(\Delta H) - U(T - T_c) = 0 \quad (\text{II-8})$$

Persamaan lain pada CSTR yaitu (Levenspiel, 1999)

$$\tau = \frac{V}{v} = \frac{C_{A0}X_A}{-r_A} \quad (\text{II-9})$$

II.7 Reaksi Nitrogliserin

Berdasarkan (Lu, 2007) Nitrogliserin (NG) atau yang sering disebut dengan gliserol trinitrat pada umumnya dihasilkan dari nitrasi gliserin. Proses Biazzi merupakan sebuah proses yang digunakan untuk memproduksi Nitrogliserin melalui reaksi sebagai berikut



Persamaan laju reaksi dari reaksi di atas yaitu

$$-r_G = k C_G^n C_N^m$$

$$-r_G = A e^{-E/RT} C_{G,0}^{n+m} (1 - x_G)^n (M - 3x_G)^m \quad (II-11)$$

Data parameter kinetik dari reaksi pembuatan Nitrogliserin dari nitrasi gliserin yaitu

Tabel II.1 Data Parameter Kinetik Pada Proses Nitrasi Gliserin (Lu, 2007)

PARAMETER	NILAI	SATUAN
A (pre-exponential Faktor)	$9,78 \times 10^{22}$	L^{1-n-m}/mol^{1-n-m} menit
E (Energi Aktivasi)	122	kJ/gmol
n (orde reaksi terhadap gliserin)	0,935	-
m (orde reaksi terhadap asam nitrat)	1,117	-

II.8 Multiple CSTR

Reaktor CSTR tunggal memiliki kekurangan, salah satunya jika diinginkan reaksi dengan konversi yang tinggi. Oleh karena itu, *multiple* CSTR digunakan sebagai pengganti CSTR tunggal untuk mengurangi *capital investment* dan meningkatkan *yield* produk. (Luyben, 2007)

Multiple Reaktor CSTR yang dipasang secara seri akan memiliki sifat yang mendekati dengan *Plug Flow Reactor*. Hal ini

terjadi ketika CSTR yang dipasang secara seri adalah 5 buah CSTR. (Qasim, 2013)

1. *Equal-Size Multiple Isothermal CSTRs* secara seri dengan reaksi $A \rightarrow B$

Jika reaksi yang terjadi dalam reaktor CSTR adalah reaksi $A \rightarrow B$ maka volume reaktor yang dibutuhkan dapat dirumuskan dalam bentuk konversi (X), *specific reaction rate* (k), dan Laju alir *Feed* (F) adalah

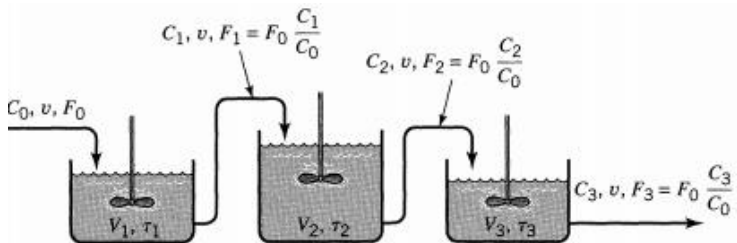
$$V_R = \frac{F X}{k (1-X)} \quad (\text{II-12})$$

(Luyben, 2007) menyebutkan jika diinginkan konversi sebesar 98% maka volume reaktor yang dibutuhkan sangat besar. Jika digunakan tiga reaktor dengan volume yang sama, maka volume reaktor ketiga buah masing-masing dapat ditentukan dengan rumus:

$$V_{R1} = V_{R2} = V_{R3} = \frac{F [1 - \sqrt[3]{1-X}]}{k (1-X)^{\frac{1}{3}}} \quad (\text{II-13})$$

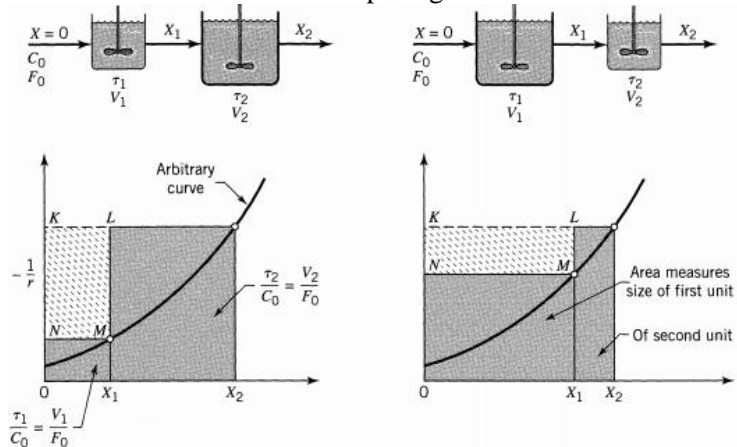
2. *Different-Size Multiple Isothermal CSTRs* secara seri dengan reaksi $A \rightarrow B$

(Levenspiel, 1999) menyebutkan CSTR yang berjumlah tiga buah dengan volume berbeda-beda yang dipasang secara seri dengan kinetika reaksi kimia tertentu dapat diilustrasikan dengan Volume reaktor, laju alir *feed*, konsentrasi, *space-time*, dan volumetric flow rate sebagai berikut



Gambar II.4 Unequal-Size CSTRs secara seri

Ukuran reaktor minimum dapat ditentukan dengan konversi yang telah ditetapkan dimana reaktan mengalami reaksi tertentu. Hal ini diilustrasikan pada gambar II.5



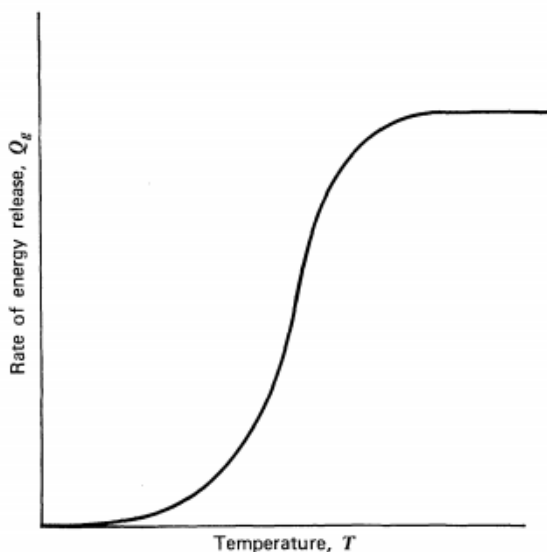
Gambar II.5 Representasi grafis dari dua CSTR secara seri

Gambar II.5 menunjukkan dua alternatif volume reaktor yang memiliki konversi akhir yang sama. Jika konversi intermediate diubah maka rasio dua volume reaktor akan berubah begitu juga dengan volume total reaktor yang dibutuhkan. Agar didapatkan volume reaktor total yang kecil maka persegi panjang KLMN harus besar. (Levenspiel, 1999)

II.9 KESTABILAN REAKTOR BERPENGADUK

Sebuah reaktor beroperasi secara *steady-state* ketika laju energi yang dilepaskan oleh reaksi kimia sama dengan jumlah laju energi yang hilang akibat aliran konveksi dan perpindahan panas menuju lingkungan. (Hill, 1977)

Q *generation* menunjukkan laju dimana energi panas dilepaskan oleh sebuah reaksi eksotermis dalam CSTR. Jika Q *generation* diplot terhadap suhu dari reaktor yang mengandung komposisi dan laju alir dari aliran masuk yang tertentu, terdapat beberapa macam kurva yang dapat dihasilkan, tergantung dari jenis reaksi. Gambar II.6 merupakan jenis kurva untuk sebuah reaksi orde satu *irreversible* yang sederhana.



Gambar II.6 Laju Panas yang dilepaskan oleh reaksi terhadap reaksi eksotermis irreversible pada CSTR

Pada suhu yang rendah, laju reaksi dapat diabaikan sehingga sangat sedikit energi yang dapat dilepaskan oleh reaksi. Pada suhu yang tinggi, konstanta laju reaksi sangat tinggi sehingga sangat sedikit reaktan yang tersisa pada aliran keluar CSTR. Akibatnya, suhu yang lebih tinggi tidak dapat meningkatkan *Q generation* secara signifikan dan kurva akan konstan. (Hill, 1977) menuliskan persamaan dari kurva adalah

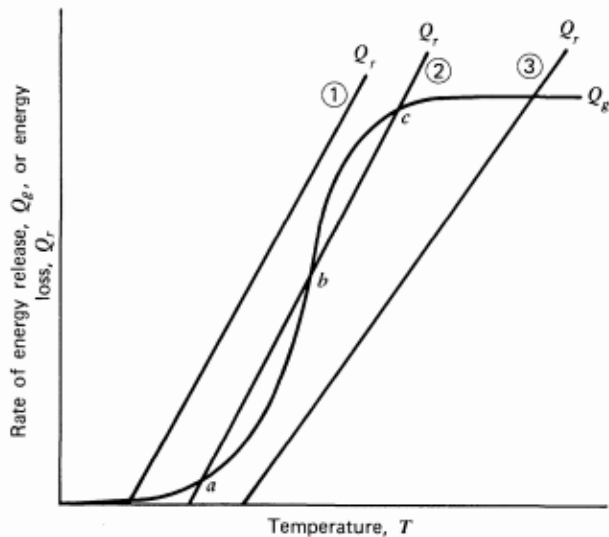
$$Q_g = r V_r \Delta H_r \quad (\text{II-14})$$

Reaksi yang lain akan memiliki bentuk kurva *Q generation* yang berbeda sebagai contohnya adalah reaksi eksotermis reversible. (Hill, 1977)

Perpotongan-perpotongan dari persamaan *Q generation* dan *Q removal* akan menunjukkan penyelesaian dari persamaan neraca masa dan neraca energi. Letak perpotongan yang ada tergantung dari variabel yang muncul pada bagian kanan persamaan. Bentuk persamaan dari *Q removal* adalah

$$Q_R = UA(T - T_m) + mC(T - T_o) \quad (\text{II-15})$$

Gambar di bawah ini menunjukkan beberapa macam situasi yang dapat dijumpai.



Gambar II.7 Plot Q generation dan Q removed vs Temperatur

Jika laju energi yang dibuang ditunjukkan pada garis nomor 1, reaksi mengalami pendinginan hingga berada pada daerah yang suhu operasinya hanya mungkin terjadi pada suhu rendah dan konversi yang rendah. Hal ini dapat diakibatkan oleh rendahnya suhu pendingin dan suhu *feed* aliran masuk. (Hill, 1977)

Jika laju energi yang dibuang ditunjukkan pada garis nomor 3, reaksi mengalami konversi yang sempurna, kondisi ini diakibatkan oleh kondisi tingginya suhu pendingin dan tingginya suhu *feed* aliran masuk. (Hill, 1977)

Jika kurva Q removal ditunjukkan oleh garis nomor 2, maka terdapat tiga titik perpotongan dengan Q generation. Hal ini dapat dilakukan dengan mengurangi kapasitas pendinginan pada kasus 1 atau dengan menurunkan suhu aliran masuk dan/ menambah kapasitas pendinginan dari kasus 3. Di antara 3 kondisi operasi

yang ditunjukkan pada garis 2, hanya 2 yaitu a dan c yang stabil, yang ketiga yaitu titik b tidak stabil. (Hill, 1977)

Pada titik c, peningkatan suhu mengakibatkan laju yang hilang akibat perpindahan panas lebih besar dari laju pelepasan energi oleh reaksi kimia. Akibatnya, sistem akan kehilangan energi panas dan mengalami penurunan suhu hingga kembali pada titik c. Sebaliknya, jika mengalami penurunan suhu maka laju pelepasan energi oleh reaksi kimia akan lebih besar dari laju yang hilang akibat perpindahan panas. Suhu sistem akan meningkat hingga titik c. Karena perpindahan dari titik ini mengakibatkan kondisi yang cenderung kembali pada titik semula, maka titik c dikatakan stabil. Dengan alasan yang sama, maka titik a dan perpotongan kurva 1 dan 3 pada *Q generation* merupakan titik operasi yang stabil. (Hill, 1977)

karakteristik titik b akibat perubahan suhu adalah berbeda. Pada titik ini, kemiringan dari kurva *Q generation* lebih besar dari *Q removed*. Jika terjadi sedikit kenaikan suhu, maka energi yang dilepaskan oleh reaksi kimia akan lebih besar dibandingkan energi yang dibuang. Hal ini menyebabkan kenaikan suhu hingga mencapai titik c. Ketika terjadi penurunan suhu, sistem akan mengalami kehilangan energi lebih cepat dari energi yang dihasilkan oleh reaktor, hal ini menyebabkan penurunan suhu hingga titik yang lebih rendah. Respon dari titik b terhadap perubahan temperatur, titik b dikatakan tidak stabil. (Hill, 1977)

Kestabilan juga dapat ditentukan secara analitis dengan mengubah persamaan neraca massa dan neraca energi dalam bentuk *unsteady-state*. Bentuk persamaan tersebut merupakan bentuk persamaan non-linear. (Amundson, 1955)

Persamaan non-linear dapat dilinearisasi dengan menggunakan deret Taylor, dimana persamaan non-linear memiliki persamaan

$$\frac{dy}{dt} = f(y, u) \quad (\text{II-16})$$

Bentuk linear dari model di atas yaitu

$$\frac{dy'}{dt} = \frac{\partial f}{\partial y}(y') + \frac{\partial f}{\partial u}(u') \quad (\text{II-17})$$

Variabel deviasi muncul dengan sendirinya dari ekspansi deret taylor , dimana $y' = y - \bar{y}$ dan $u' = u - \bar{u}$. (Seborg, 2011)

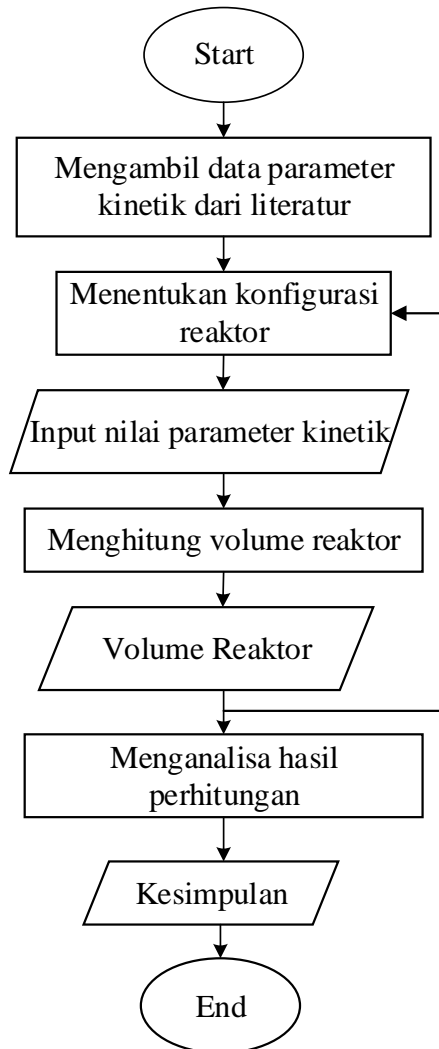
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

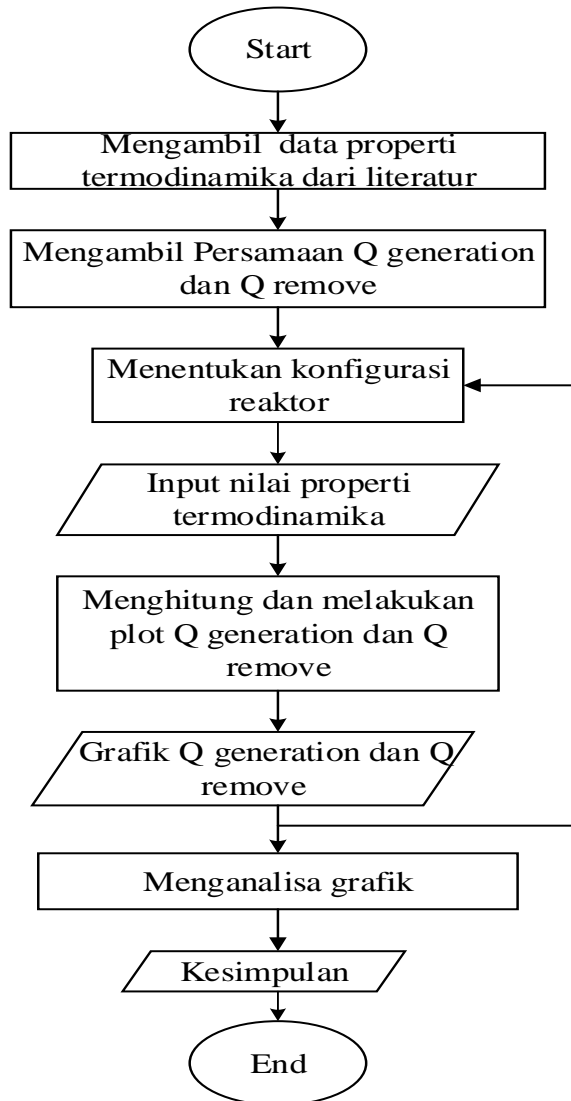
METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Metode Penelitian

Metode yang dimaksud adalah suatu acuan dalam melakukan urutan-urutan kerja atau langkah-langkah analitis yang disusun secara benar dan teratur agar topik permasalahan bisa diselesaikan secara tepat dan dapat dipertanggungjawabkan. Pertama dilakukan pendefinisian masalah, dimana penelitian difokuskan pada bahasan-bahasan tertentu. Untuk mendapatkan bahasan yang jelas, maka dilakukan pendefinisian batas sistem. Selanjutnya menentukan variabel yang akan dimanipulasi dan kemudian membuat deskripsi proses untuk manipulasi. Secara umum penelitian ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :



Gambar III.1 Diagram Alir Penelitian Volume Reaktor Minimum



Gambar III.2 Diagram Alir Penelitian Kestabilan Reaksi

III.2 Penentuan Konfigurasi dengan Total Volume Reaktor Minimum

Penentuan Konfigurasi dengan Total Volume Reaktor Minimum dilakukan dengan simulasi berdasarkan persamaan sebagai berikut

$$V_i = \frac{x_i - x_{i-1}}{(-r_G)_i} F_{A0} \quad (\text{III-1})$$

Persamaan III-1 digunakan pada reaktor yang dipasang secara seri pada konfigurasi seri dan paralel-seri sedangkan rangkaian paralel dan seri-paralel digunakan persamaan sebagai berikut

$$V = \frac{x_{out} - x_{in}}{-r_G} F_{A0} \quad (\text{III-2})$$

Laju reaksi Gliserin yaitu

$$-r_G = A e^{-E/RT} C_{G,0}^{n+m} (1 - x_G)^n (M - 3x_G)^m \quad (\text{III-3})$$

Dimana :

$$M = \frac{C_{N,0}}{C_{G,0}} \quad (\text{III-4})$$

Agar dapat menentukan konfigurasi dengan volume total reaktor terkecil, konversi akhir gliserin dari Reaktor telah ditetapkan sebesar 0,99 sedangkan yang diubah adalah konversi *intermediate* gliserin.

III.3 Properti Termodinamika

Data properti termodinamika telah berhasil didapatkan berdasarkan (Lu, 2007). Data-data tersebut yaitu Entalpi Pembentukan, *Heat Capacity*, dan *Heat of Dilution*. *Heat Capacity* pada penelitian ini diasumsikan konstan.

**Tabel III.1 Data Kapasitas Panas dan Entalpi Pembentukan
(Lu, 2007)**

Properti	Senyawa Kimia				
	C ₃ H ₅ (OH) ₃	HNO ₃	H ₂ SO ₄	C ₂ H ₅ (ONO ₂) ₃	H ₂ O
H _{f,Tref} (kJ/mol)	-665,925	-173,008	-810,399	-368,462	-285,838
C _p (kJ/mol K)	0,214	0,125	0,14	0,339	0,075
$\Delta C_p = -0,025 \text{ kJ/mol K}$			$\Delta H_{r,Tref} = -41,027 \text{ kJ/mol}$		

Berdasarkan data kapasitas panas dan entalpi pembentukan yang terdapat pada tabel III.1 maka entalpi reaksi, dengan $T_{ref} = 298 \text{ K}$, dapat dihitung dengan persamaan III-5

$$\Delta H_r = \Delta H_{r,Tref} + \Delta C_p(T - T_{ref}) \quad (\text{III-5})$$

Sedangkan *Heat of Dilution* didapat dari persamaan III-6

$$\Delta H_d = \frac{W_{mf}H_{df} - W_{m0}H_{d0}}{M_{NG}} \quad (\text{III-6})$$

$$H_{d0} = H_{d,Tref} + \Delta C_{pd}(T_0 - T_{ref}) \quad (\text{III-7})$$

$$H_{df} = H_{d,Tref} + \Delta C_{pd}(T_f - T_{ref}) \quad (\text{III-8})$$

Dimana W_{mf} dan W_{m0} merupakan massa asam nitrat dan asam sulfat pada *outflow* dan *inflow*. ΔC_{pd} merupakan *specific heat* dari *mixed acid* yaitu asam nitrat dan asam sulfat sedangkan $H_{d,Tref}$ merupakan *heat of dilution* pada T_{ref} .

$$\begin{aligned} H_{d,Tref} = & -29,39 - 1276,08R_w - 1689,96 R_w^2 + 0,92R_N \\ & + 296,24R_wR_N + 42,74R_N^2 \end{aligned} \quad (\text{III-9})$$

$$\Delta C_{pd} = 1,4286 + 2,0398R_w + 0,5496R_N \quad (\text{III-10})$$

Dimana

$$R_w = \frac{W_{H_2O}}{W_{HNO_3} + W_{H_2SO_4} + W_{H_2O}} \quad (III-11)$$

$$R_N = \frac{W_{HNO_3}}{W_{HNO_3} + W_{H_2SO_4}} \quad (III-12)$$

III.4 Analisa Kestabilan

Analisa kestabilan dilakukan dengan menggunakan plot *Q generation* dan *Q removal* terhadap temperatur operasi dari CSTR.

$$Q_G = \tau [2\Delta H_{r,T_{ref}} + 2\Delta C_P(T_f - T_{ref}) + \Delta H_d] \left(A e^{-E/RT_f} C_{G,0}^{n+m} (1 - x_G)^n (M - 3x_G)^m \right) \quad (III-13)$$

Konversi Gliserin berubah-ubah terhadap suhu sehingga konversi gliserin pada persamaan III-13 ditentukan dari persamaan neraca massa berikut

$$x_G = \tau \left(A e^{-E/RT_f} C_{G,0}^{n+m-1} (1 - x_G)^n (M - 3x_G)^m \right) \quad (III-14)$$

Sedangkan *Q removed* ditentukan dengan menggunakan persamaan III-15

$$Q_r = C_v(T_0 - T_f) - \frac{hS(T_f - T_a)}{v_0} \quad (III-15)$$

Titik perpotongan antara *Q generation* dan *Q removal* merupakan titik kestabilan dari temperatur operasi CSTR sehingga didapatkan parameter pada kondisi operasi yang stabil.

Analisa kestabilan dilakukan secara analitis dengan menurunkan persamaan neraca energi dan neraca massa dari CSTR. Kemudian persamaan tersebut dianalisa secara matematis.

Persamaan neraca massa komponen:

$$V \frac{dC_G}{dt} = v_0(C_{G,0} - C_G) - V(-r_G) \quad (III-16)$$

Dengan

$$-r_G = A e^{-E/RT} (C_G)^n (C_{N,0} + 3C_G - 3C_{G,0})^m \quad (\text{III-17})$$

Didapatkan persamaan dalam variabel deviasi:

$$\frac{dC'}{dt} = - \left[\frac{E.b}{R.\bar{T}^2} \right] T' - \left[\frac{1}{\tau} + \frac{n.b}{\bar{C}_G} + \frac{3.m.b}{u} \right] C' \quad (\text{III-18})$$

Dimana

$$b = A . e^{-E/R.\bar{T}} . \bar{C}_G^n (C_{N,0} + 3.\bar{C}_G - 3.C_{G,0})^m \quad (\text{III-19})$$

$$u = (C_{N,0} + 3.\bar{C}_G - 3.C_{G,0}) \quad (\text{III-20})$$

Persamaan neraca energi:

$$V C_v \frac{dT}{dt} = v_0 C_v (T_0 - T_f) - V [2\Delta H_r + \Delta H_d] (-r_G) - hS(T_f - T_a) \quad (\text{III-21})$$

Didapatkan persamaan dalam variabel deviasi :

$$\frac{dT'}{dt} = - \left[\frac{1}{\tau} + \frac{2.\Delta C_p.b}{C_v} + \frac{E.\Delta \bar{H}.b}{R.\bar{T}^2.C_v} + \frac{h.S}{V.C_v} \right] T' - \left[\frac{n}{C_v.\bar{C}_G} + \left(\frac{3m}{u} . \Delta \bar{H} . b \right) \right] C' \quad (\text{III-22})$$

Dimana

$$b = A . e^{-E/R.\bar{T}} . \bar{C}_G^n (C_{N,0} + 3.\bar{C}_G - 3.C_{G,0})^m \quad (\text{III-23})$$

$$u = (C_{N,0} + 3.\bar{C}_G - 3.C_{G,0}) \quad (\text{III-24})$$

Kemudian persamaan neraca massa dan energi dalam variabel deviasi diubah ke bentuk yang lebih sederhana seperti berikut :

$$\frac{dC'}{dt} = -[a_{11}]C' - [a_{12}]T' \quad (\text{III-25})$$

$$\frac{dT'}{dt} = -[a_{21}]C' - [a_{22}]T' \quad (\text{III-26})$$

Dimana

$$a_{11} = \left[\frac{1}{\tau} + \frac{n.b}{\bar{C}_G} + \frac{3.m.b}{u} \right] \quad (\text{III-27})$$

$$a_{12} = \left[\frac{E.b}{R.\bar{T}^2} \right] \quad (\text{III-28})$$

$$a_{21} = \left[\frac{n}{C_v.\bar{C}_G} + \left(\frac{3m}{u} \cdot \Delta\bar{H} \cdot b \right) \right] \quad (\text{III-29})$$

$$a_{22} = \left[\frac{1}{\tau} + \frac{2.\Delta C_p.b}{C_v} + \frac{E.\Delta\bar{H}.b}{R.\bar{T}^2.C_v} + \frac{h.S}{V.C_v} \right] \quad (\text{III-30})$$

Sehingga

$$\begin{bmatrix} C'_G \\ T' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_{11} - \lambda & -a_{12} \\ -a_{21} & -a_{22} - \lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C'_G \\ T' \end{bmatrix}$$

Kemudian persamaannya menjadi :

$$\lambda^2 + (a_{11} + a_{22})\lambda + (a_{11}.a_{22} - a_{21}.a_{12}) = 0 \quad (\text{III-31})$$

Syarat suatu system stabil adalah jika akar-akarnya bernilai negatif, akar-akar negatif didapatkan jika $(a_{11} + a_{22})$ dan $(a_{11}.a_{22} - a_{21}.a_{12})$ bernilai positif.

Hasil analisa kestabilan secara matematis dan grafis kemudian dibandingkan. Hasil analisa yang stabil secara matematis dan grafis merupakan kondisi operasi yang stabil dari CSTR.

III.5 Variabel Penelitian

Pada penelitian kali ini terdapat tiga macam variabel yaitu *Manipulated Variable*, *Controlled Variable*, dan *Disturbance Variable*. Ketiga variabel tersebut dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut :

- *Manipulated Variable* merupakan variabel variabel proses yang diatur agar sesuai dengan *set point*. Pada penelitian kali ini yang merupakan *Manipulated Variable* adalah Konversi Intermediate dari reaktan
- *Controlled Variable* merupakan variabel proses yang dikontrol agar *set point* tercapai. Pada penelitian kali ini yang merupakan variabel kontrol adalah konversi akhir reaktan.
- *Disturbance Variable* merupakan variabel yang mempengaruhi *controlled variable* namun tidak dapat dimanipulasi.
 1. Volume reaktor
 2. Temperatur masuk feed
 3. Temperatur operasi

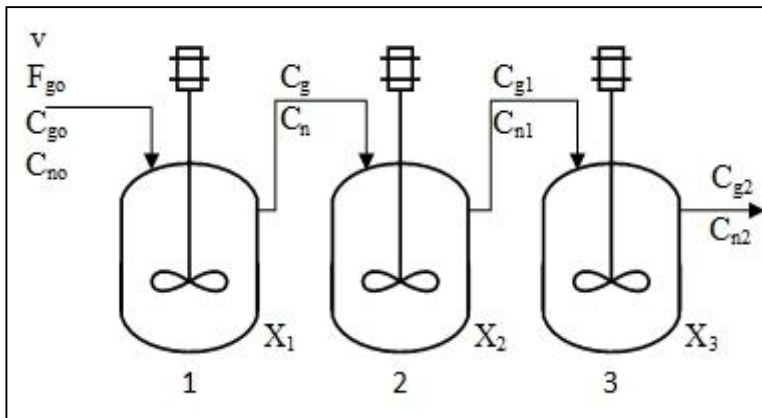
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

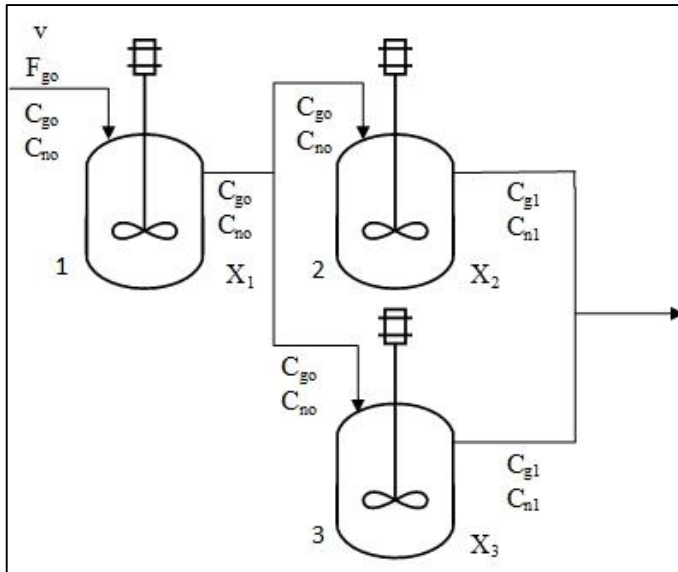
HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Volume Reaktor CSTR

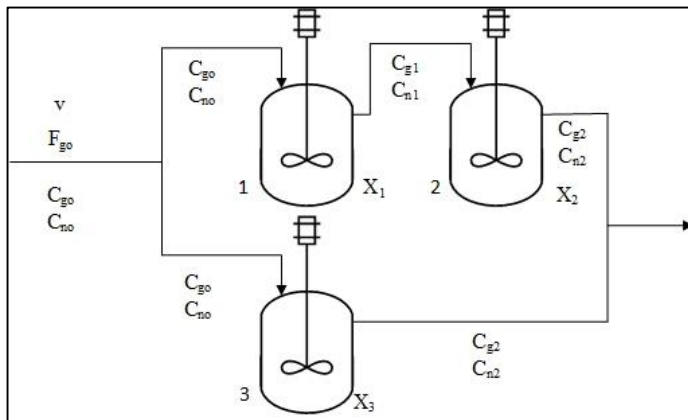
Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sistem multiple CSTR yang menghasilkan volume total minimum dan menganalisa kestabilan berdasarkan sistem steady-state multiple CSTR. Sistem multiple CSTR yang digunakan adalah sistem dengan 3 buah CSTR yang disusun secara seri, parallel, parallel-seri, dan seri-parallel. Berikut ini adalah macam-macam konfigurasi sitem multiple CSTR yang digunakan pada penelitian ini :



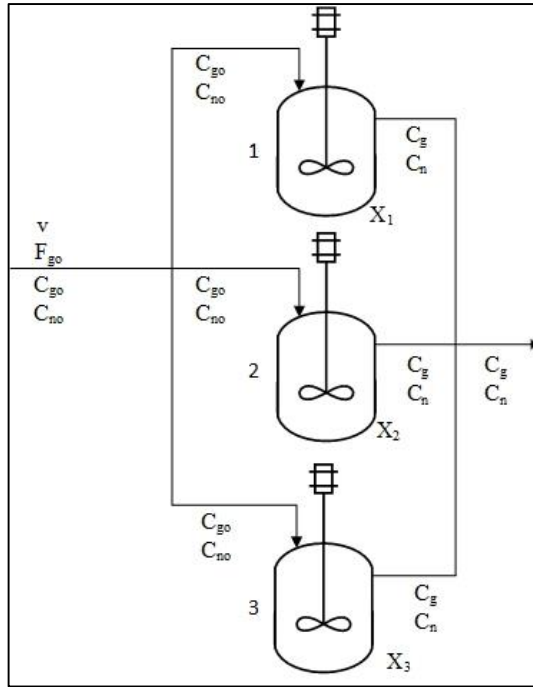
Gambar IV.1 konfigurasi sistem CSTR seri



Gambar IV.2 konfigurasi sistem CSTR seri-parallel



Gambar IV.3 konfigurasi sistem CSTR parallel-seri



Gambar IV.4 konfigurasi sistem CSTR paralel

Dalam penelitian ini konversi pada tiap reaktor CSTR divariasikan untuk mengetahui sistem yang menghasilkan volume reaktor minimum. Berikut ini adalah urutan sistem reaktor CSTR yang menghasilkan volume minimum :

1. Seri
2. Seri-Parallel
3. Parallel-Seri
4. Parallel

Pada sistem multiple CSTR seri menghasilkan volume total sebesar 42,27 L dengan konversi gliserin sebesar 0.79 pada

reactor pertama, kemudian pada reactor kedua dengan konversi gliserin sebesar 0.9, dan pada reactor ketiga dengan konversi gliserin sebesar 0.99.

Pada sistem multiple CSTR seri-paralel menghasilkan volume total sebesar 78,2 L dengan konversi gliserin pada reactor pertama sebesar 0.9 kemudian pada reactor kedua dan ketiga yang disusun secara paralel konversi gliserin sebesar 0.99. Aliran dari reactor pertama dibagi menjadi dua sehingga memiliki laju alir menuju reactor kedua dan reactor ketiga yang sama.

Pada sistem multiple CSTR paralel-seri menghasilkan volume total sebesar 263 L dengan aliran dibagi menjadi dua menuju reactor pertama dan reactor kedua sehingga memiliki laju alir sama yaitu setengah laju alir awal. Pada reactor pertama konversi gliserin sebesar 0.9 dan pada reactor kedua memiliki konversi gliserin 0.99 yang kemudian menuju reactor ketiga yang memiliki konversi gliserin sebesar 0.99.

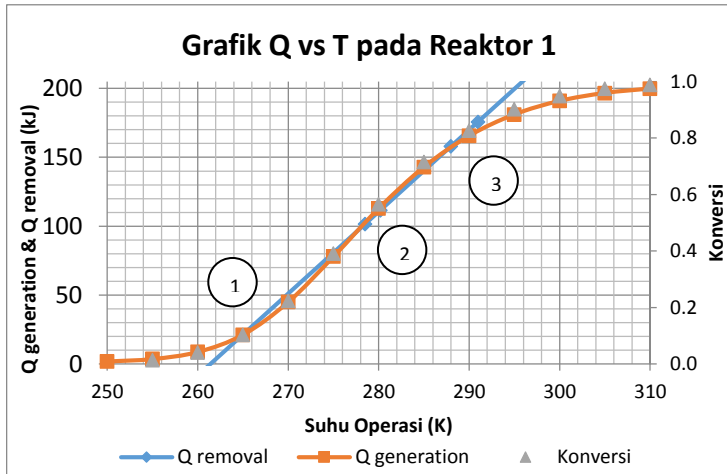
Pada system multiple CSTR paralel menghasilkan volume total sebesar 452 L. Aliran dibagi menjadi tiga sehingga laju alir tiap arus sebesar sepertiga laju alir awal yang kemudian masing-masing menuju reaktor pertama, kedua dan ketiga. Ketiga reaktor memiliki konversi yang sama yaitu 0.99. Didapatkan volume yang sangat kecil ini disebabkan perbedaan jumlah reactor yang digunakan, pada eksperimen sebelumnya (Lu, 2007) menggunakan satu buah reaktor

IV.2 Kestabilan CSTR

Setelah didapatkan volume masing-masing system multiple CSTR, penelitian dilanjutkan dengan menganalisis kestabilan masing-masing system multiple CSTR. Analisa kestabilan dilakukan pada tiap reaktor dengan melakukan plot grafik antara panas yang dihasilkan oleh reaksi kimia (Q_g) dan panas yang keluar system (Q_r) terhadap temperatur operasi (T).

Berikut ini adalah plot grafik Q vs T pada masing-masing system multiple CSTR tiap reaktor

a. Sistem multiple CSTR seri



Gambar IV.5 grafik kestabilan reaktor pertama sistem seri

Pada reaktor pertama terdapat tiga titik perpotongan antara kurva Q removal dengan Q generation terhadap temperatur. Menurut (Hill, 1977) jika terdapat tiga buah titik perpotongan antara kurva Q removal dengan Q generation terhadap temperatur, titik yang berada di tengah adalah daerah tidak stabil. Pada reaktor pertama ini stabil pada dua titik, yaitu titik 1 dan titik 3 sedangkan titik 2 tidak stabil. Pada titik 1 menunjukkan kondisi stabil pada temperatur rendah yaitu 265 K dengan konversi gliserin yang dicapai yaitu 0,1. Ketika temperatur mengalami kenaikan akan menyebabkan Q removal akan lebih besar dari Q generation sehingga system akan mengalami kehilangan energy kemudian temperatur akan turun menuju titik 1. Sebaliknya ketika suhu mengalami penurunan menyebabkan Q removal akan lebih kecil dari Q generation

sehingga system akan mengalami kenaikan energy kemudian temperatur akan naik menuju titik 1. Pada titik 2 menunjukkan kondisi tidak stabil pada temperatur 277 K. Pada titik ini, konversi gliserin yang mampu dicapai yaitu 0,43. Karena slope Q generation akan lebih besar dari pada slope Q removal, jika sistem mengalami kenaikan temperatur energy yang dihasilkan akan lebih cepat dari yang dibuang sehingga temperatur akan terus naik sampai titik 3, sedangkan jika sistem mengalami penurunan temperatur system mengalami kehilangan energy lebih cepat dari yang di hasilkan maka temperatur akan terus turun sampai titik 1. Pada titik 3 menunjukkan kondisi stabil pada temperatur tinggi yaitu 288 K namun konversi gliserin yang mampu dicapai yaitu 0,8.

Analisa kestabilan juga dilakukan secara analitis dan hasilnya ditabelkan sebagai berikut.

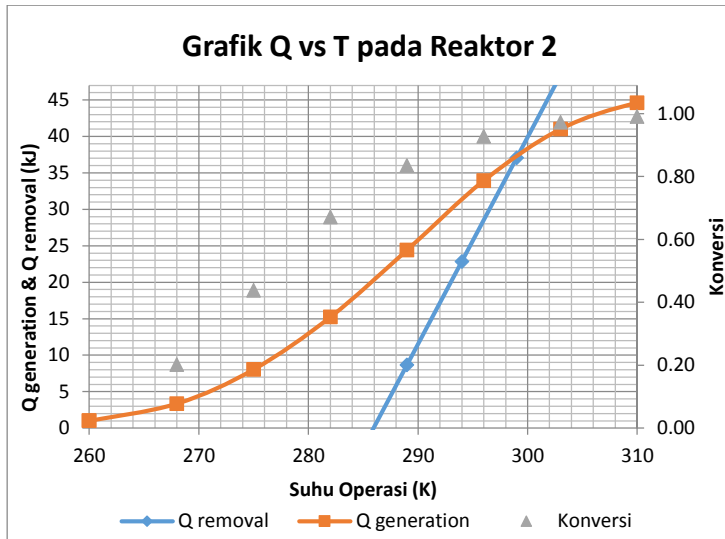
Tabel IV.1 Hasil analisa kestabilan secara analitis reaktor 1 seri

Titik Perpotongan	$a_{11} + a_{22}$	$(a_{11}.a_{22})-(a_{12}.a_{21})$
1	8,6	11,1
2	-25	-139
3	-92	3139

Berdasarkan tabel di atas, secara analitis, hanya terdapat satu titik operasi yang stabil yaitu pada titik 1 dengan temperatur operasi yaitu 265 K dengan konversi gliserin sebesar 0,1. Titik operasi 2 dan 3 tidak stabil. Oleh karena itu, hanya 1 titik yang stabil yaitu titik 1 karena stabil secara grafis dan analitis, titik 2 tidak stabil baik secara grafis maupun analitis sedangkan titik 3 kondisi operasinya tidak stabil karena secara analitis titik tersebut tidak stabil.

Tabel IV.2 *Inflow* dan *Outflow* Reaktor 1 pada T operasi = 288 K, $X_g=0,8$

	<i>Inflow</i>	<i>Outflow</i>		
Temperatur (K)	288	265 (<i>Lower</i>)	277 (<i>Middle</i>)	288 (<i>Upper</i>)
<i>Volumetric Flowrate</i> Total (L/menit)	77,4			
Laju alir Gliserin (mol/menit)	187,8	168,33	94,34	39,44
Konsentrasi Gliserin (M)	2,43	2,18	1,22	0,51
Laju alir asam Nitrat (mol/menit)	685,4	627	405	240,25
Konsentrasi Asam Nitrat (M)	8,857	8,1	5,23	3,1
Laju alir Nitrogliserin (mol/menit)	0	19,48	93,5	148,4



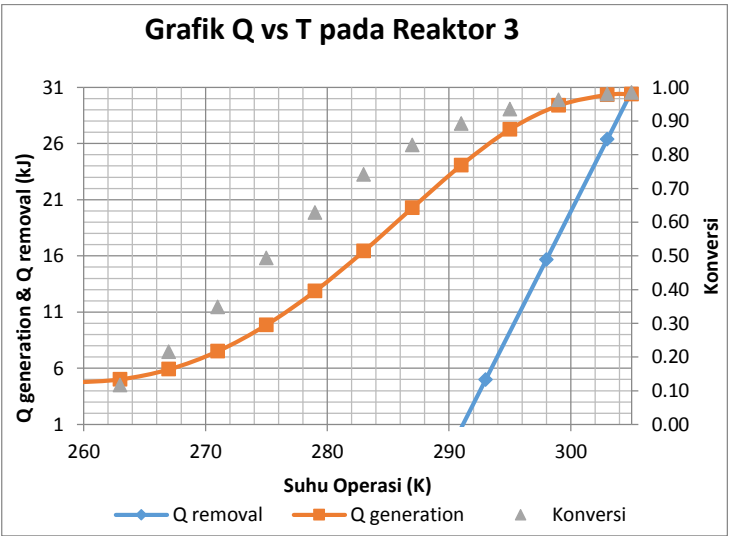
Gambar IV.6 grafik kestabilan reaktor kedua sistem seri

Pada reaktor pertama terdapat satu titik perpotongan antara kurva Q removal dengan Q generation terhadap temperatur, yaitu pada temperatur 289 K. Dari grafik diatas terlihat bahwa titik 1 stabil ini menunjukkan konversi tinggi dari reaksi pembuatan nitrogliserin dari reaksi gliserin dengan asam nitrat yaitu pada konversi gliserin sebesar 0.95.

Titik perpotongan tersebut stabil secara analitis, hal ini ditunjukkan dengan harga $a_{11} + a_{22} > 0$ yaitu 600 dan $a_{11}.a_{22} - a_{12}.a_{21} > 0$ yaitu sebesar 3598. Kedua nilai yang positif menunjukkan bahwa sistem stabil pada titik tersebut.

Tabel IV.3 Inflow dan Outflow Reaktor 2 pada T operasi = 299 K, $X_g=0,95$

	<i>Inflow</i>	<i>Outflow</i>
Temperatur (K)	288	299
<i>Volumetric Flowrate</i> total (L/menit)	77,4	
Laju alir Gliserin (mol/menit)	39,44	2
Konsentrasi Gliserin (M)	0,51	0,03
Laju alir asam Nitrat (mol/menit)	240,25	127,85
Konsentrasi Asam Nitrat (M)	3,1	1,65
Laju alir Nitrogliserin (mol/menit)	148,4	185,83



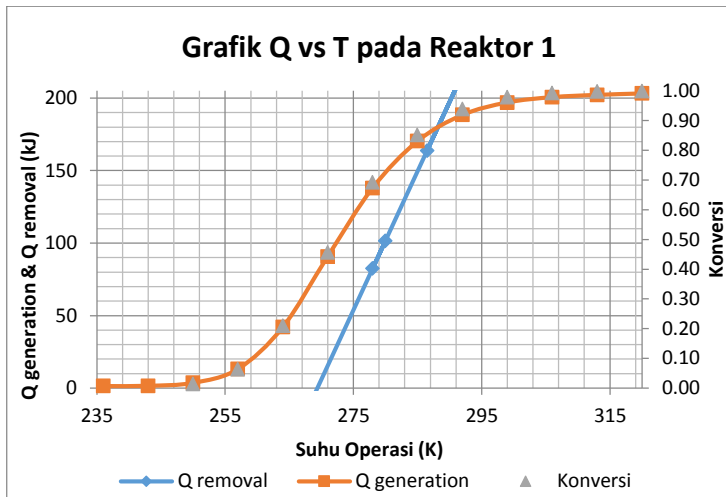
Gambar IV.7 grafik kestabilan reaktor ketiga sistem seri

Pada reaktor ketiga terdapat satu titik perpotongan antara kurva Q removal dengan Q generation terhadap temperatur, yaitu pada temperatur 313,5 K. Dari grafik diatas terlihat bahwa titik 1 stabil. Grafik ini menunjukkan konversi sempurna dari reaksi pembuatan nitrogliserin dari reaksi gliserin dengan asam nitrat yaitu pada gliserin sebesar 0,94. Titik perpotongan tersebut stabil secara analitis hal ini ditunjukkan dengan harga $a_{11} + a_{22} > 0$ yaitu 55,6 dan $a_{11}.a_{22} - a_{12}.a_{21} > 0$ yaitu sebesar 294. Oleh karena itu, titik perpotongan tersebut stabil baik secara grafis maupun analitis.

Tabel IV.4 Inflow dan Outflow Reaktor 3 pada T operasi = 305 K, $X_g=0,99$

	<i>Inflow</i>	<i>Outflow</i>
Temperatur (K)	299	305
<i>Volumetric Flowrate</i> total (L/menit)	77,4	
Laju alir Gliserin (mol/menit)	2	0,03
Konsentrasi Gliserin (M)	0,03	~0
Laju alir asam Nitrat (mol/menit)	127,85	122
Konsentrasi Asam Nitrat (M)	3,1	1,58
Laju alir Nitrogliserin (mol/menit)	185,83	187,7

b. Sistem multiple CSTR seri-parallel



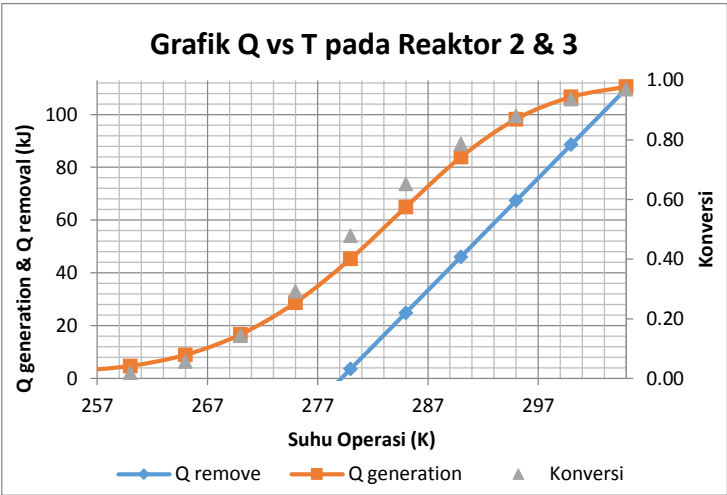
Gambar IV.8 grafik kestabilan reaktor pertama sistem seri-parallel

Pada reaktor pertama terdapat satu titik perpotongan antara kurva Q removal dengan Q generation terhadap temperatur, yaitu pada temperatur 288 K. Dari grafik diatas terlihat bahwa titik 1 stabil ini menunjukkan konversi tinggi dari reaksi pembuatan nitrogliserin dari reaksi gliserin dengan asam nitrat yaitu pada konversi gliserin sebesar 0.9.

Sedangkan grafik dengan tiga titik perpotongan tidak dimungkinkan hal ini dikarenakan suhu operasi reaktor berada di bawah 273 K. Secara matematis dengan nilai $a_{11}+a_{22} > 0$ yaitu 9,43 dan nilai $(a_{11}a_{22})-(a_{12}a_{21}) > 0$ yaitu 12 sehingga suhu operasi pada $T=290$ K adalah stabil.

Tabel IV.5 Inflow dan Outflow Reaktor 1 pada T operasi = 288 K, $X_g=0,9$

	<i>Inflow</i>	<i>Outflow</i>
Temperatur (K)	293	288
<i>Volumetric Flowrate</i> (L/menit)	77,38	
Laju alir Gliserin (mol/menit)	187,8	18,78
Konsentrasi Gliserin (M)	2,43	0,24
Laju alir asam Nitrat (mol/menit)	423,3	178,3
Konsentrasi Asam Nitrat (M)	8,86	2,3
Laju alir Nitrogliserin (mol/menit)	0	169



Gambar IV.9 grafik kestabilan reaktor kedua dan ketiga sistem seri-paralel

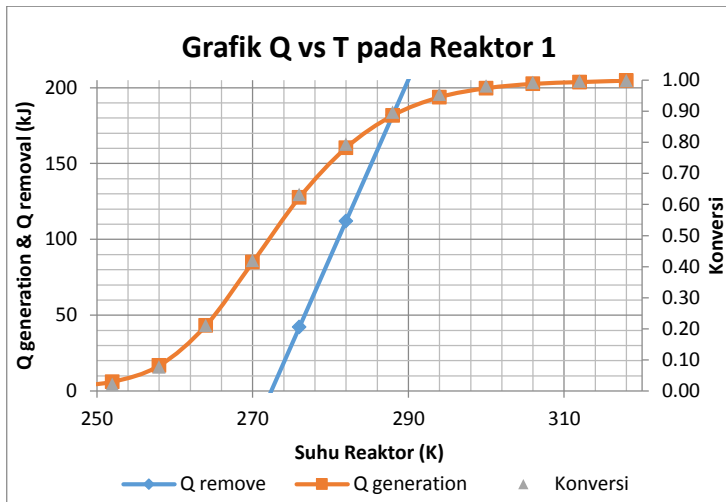
Pada reaktor kedua terdapat satu titik perpotongan antara kurva Q removal dengan Q generation terhadap temperatur, yaitu pada temperatur 305 K. Dari grafik diatas terlihat bahwa titik 1 stabil. Grafik ini menunjukkan konversi sempurna dari reaksi pembuatan nitrogliserin dari reaksi gliserin dengan asam nitrat yaitu pada konversi gliserin sebesar 0.99.

Titik perpotongan tersebut stabil secara analitis, hal ini ditunjukkan dengan harga $a_{11} + a_{22} > 0$ yaitu 613 dan $a_{11}.a_{22} - a_{12}.a_{21} > 0$ yaitu sebesar 159. Kedua nilai yang positif menunjukkan bahwa sistem stabil pada titik tersebut.

Tabel IV.6 Inflow dan Outflow Reaktor 2 & 3 pada T operasi =305 K, $X_g=0,99$

	<i>Inflow</i>	<i>Outflow</i>
Temperatur (K)	288	305
<i>Volumetric Flowrate</i> (L/menit)	38,7	
Laju alir Gliserin (mol/menit)	9,39	0,06
Konsentrasi Gliserin (M)	0,24	0
Laju alir asam Nitrat (mol/menit)	89,14	4,17
Konsentrasi Asam Nitrat (M)	7,33	1,58
Laju alir Nitrogliserin (mol/menit)	169	178

c. Sistem multiple CSTR parallel-seri



Gambar IV.10 grafik kestabilan reaktor pertama sistem parallel- seri

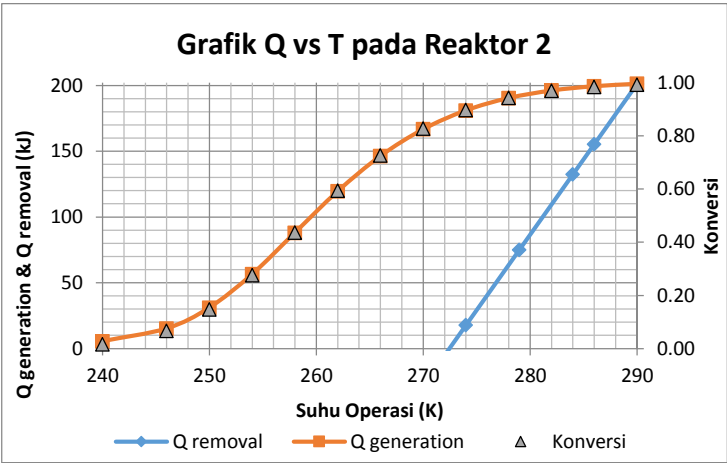
Pada reaktor pertama terdapat satu titik perpotongan antara kurva Q removal dengan Q generation terhadap temperatur, yaitu pada temperatur 288 K. Dari grafik diatas terlihat bahwa titik 1 stabil ini menunjukkan konversi tinggi dari reaksi pembuatan nitroglicerine dari reaksi gliserin dengan asam nitrat yaitu pada konversi gliserin sebesar 0.9.

Sedangkan grafik dengan tiga titik perpotongan tidak dimungkinkan hal ini dikarenakan suhu operasi reaktor berada di bawah 273 K. Secara analitis perpotongan pada titik tersebut adalah stabil dengan nilai $a_{11}+a_{22} > 0$ yaitu 783 dan nilai $(a_{11}a_{22})-(a_{12}a_{21}) > 0$ yaitu 9264

Sehingga, Neraca massa pada reaktor 1 yaitu :

Tabel IV.7 *Inflow* dan *Outflow* Reaktor 1 pada T operasi = 288 K, $X_g=0,9$

	<i>Inflow</i>	<i>Outflow</i>
Temperatur (K)	293	288
<i>Volumetric Flowrate</i> (L/menit)	38,7	
Laju alir Gliserin (mol/menit)	94	9,66
Konsentrasi Gliserin (M)	2,43	0,25
Laju alir asam Nitrat (mol/menit)	21,025	20,19
Konsentrasi Asam Nitrat (M)	8,86	2,32
Laju alir Nitrogliserin (mol/menit)	0	93,8

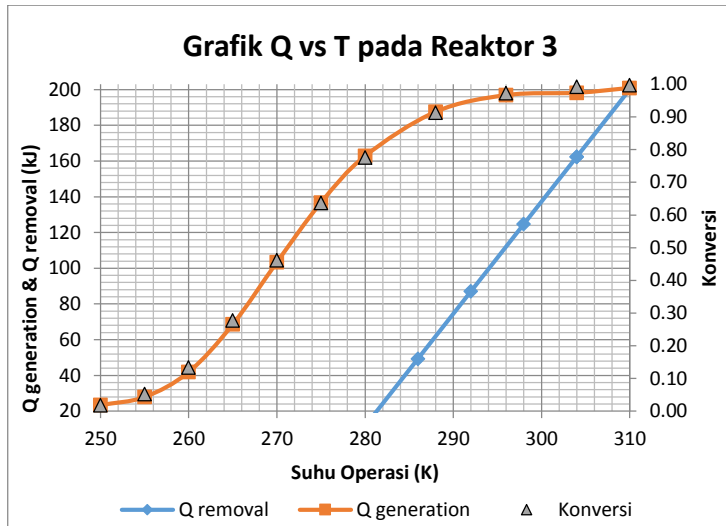


Gambar IV.11 grafik kestabilan reaktor kedua sistem parallel- seri

Pada reaktor 2, terdapat satu titik perpotongan pada suhu $T=290$ K dengan konversi gliserin yaitu 0,99. Menurut Hill (1977), jika grafik memiliki satu perpotongan maka titik tersebut stabil. Hal ini dibuktikan secara matematis dengan nilai $a_{11}+a_{22} > 0$ yaitu 9,43 dan nilai $(a_{11}a_{22})-(a_{12}a_{21}) > 0$ yaitu 12 sehingga suhu operasi pada $T=290$ K adalah stabil.

Tabel IV.8 *Inflow* dan *Outflow* Reaktor 2 pada T operasi = 290 K, $X_g=0,99$

	<i>Inflow</i>	<i>Outflow</i>
Temperatur (K)	288	290
<i>Volumetric Flowrate</i> (L/menit)	38,7	
Laju alir Gliserin (mol/menit)	93,9	0,68
Konsentrasi Gliserin (M)	2,43	0,02
Laju alir asam Nitrat (mol/menit)	342,7	63,04
Konsentrasi Asam Nitrat (M)	8,86	1,64
Laju alir Nitrogliserin (mol/menit)	0	93,2



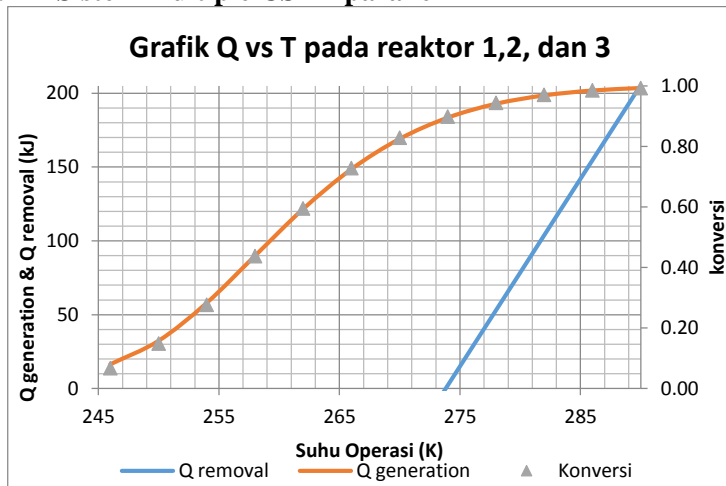
Gambar IV.12 grafik kestabilan reaktor ketiga sistem parallel- seri

Pada reaktor 3, terdapat satu titik perpotongan pada suhu $T=310$ K dengan konversi gliserin yaitu 0,99. Menurut Hill (1977), jika grafik memiliki satu perpotongan maka titik tersebut stabil. Hal ini dibuktikan secara matematis dengan nilai $a_{11}+a_{22} > 0$ yaitu 247 dan nilai $(a_{11}a_{22})-(a_{12}a_{21}) > 0$ yaitu 406 sehingga suhu operasi pada $T=310$ K adalah stabil.

Tabel IV.9 Inflow dan Outflow Reaktor 3 pada T operasi = 310 K, $X_g=0,99$

	<i>Inflow</i>	<i>Outflow</i>
Temperatur (K)	288	310
<i>Volumetric Flowrate</i> (L/menit)	38,7	
Laju alir Gliserin (mol/menit)	9,66	0,03
Konsentrasi Gliserin (M)	0,25	~0
Laju alir asam Nitrat (mol/menit)	90	61,05
Konsentrasi Asam Nitrat (M)	2,3	1,6
Laju alir Nitrogliserin (mol/menit)	93,8	103,4

d. Sistem multiple CSTR paralel



Gambar IV.13 grafik kestabilan reaktor pertama, kedua, dan ketiga sistem paralel

Pada reaktor pertama terdapat satu titik perpotongan antara kurva Q removal dengan Q generation terhadap temperatur, yaitu pada temperatur 284,7 K. Dari grafik diatas terlihat bahwa titik 1 stabil. Grafik ini menunjukkan konversi tinggi dari reaksi pembuatan nitrogliserin dari reaksi gliserin dengan asam nitrat yaitu pada konversi gliserin sebesar 0.99. Begitu juga dengan reaktor kedua dan reaktor ketiga memiliki satu titik perpotongan antara kurva Q removal dengan Q generation terhadap temperatur.

Konversi gliserin meningkat dengan meningkatnya suhu. Pada suhu 286-290 K konversi gliserin tidak meningkat secara signifikan dengan kenaikan suhu. Pada rentang suhu 255-278 K terjadi peningkatan konversi gliserin.

Hal ini dibuktikan secara matematis dengan nilai $a_{11}+a_{22} > 0$ yaitu 10 dan nilai $(a_{11}a_{22})-(a_{12}a_{21}) > 0$ yaitu 3,6 sehingga suhu operasi pada $T=290$ K adalah stabil.

Hal yang sama juga berlaku untuk reaktor 2 dan 3.

Tabel IV.10 Inflow dan Outflow Reaktor 1,2, dan 3 pada T operasi = 290 K, $X_g=0,99$

	<i>Inflow</i>	<i>Outflow</i>
Temperatur (K)	293	290
<i>Volumetric Flowrate</i> Total (L/menit)	25,8	
Laju alir Gliserin (mol/menit)	62,6	0,46
Konsentrasi Gliserin (M)	2,43	0,02
Laju alir asam Nitrat (mol/menit)	228,45	42
Konsentrasi Asam Nitrat (M)	9	1,6
Laju alir Nitrogliserin (mol/menit)	0	62,14

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN

1. Konfigurasi multiple CSTR seri menghasilkan total volume minimum sebesar 42,15 L
2. Berdasarkan analisa kestabilan secara grafis dan analitis didapatkan :
 - a. untuk reaktor dengan konfigurasi seri stabil pada reaktor pertama dengan temperatur operasi 265 K, pada reaktor kedua 299 K, dan pada reaktor ketiga 305 K
 - b. untuk reaktor dengan konfigurasi seri-paralel stabil pada reaktor pertama dengan temperatur operasi 288 K, pada reaktor kedua 305 K, dan pada reaktor ketiga 305 K
 - c. untuk reaktor dengan konfigurasi parallel-seri stabil pada reaktor pertama dengan temperatur operasi 288 K, pada reaktor kedua 290 K, dan pada reaktor ketiga 310 K
 - d. untuk reaktor dengan konfigurasi parallel stabil pada reaktor pertama dengan temperatur operasi 290 K, pada reaktor kedua 290 K, dan pada reaktor ketiga 290 K

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Amundson, N. R.; Bilous, O. 1955. *Chemical Reactor Stability and Sensivity*. AIChE Journal, vol. 1, pages 513-521
- Danckwerts, P. V. 1970. *Gas-Liquid Reactions*. New York : McGraw - Hill Book Co.
- Fogler, H. S. 1999. *Elements of Chemical Engineering*. New Delhi : Prentice Hall, Inc.,
- Hill, C.G. 1977. *An Introduction to Chemcial Engineering Kinetics and Reactor Design*. New York : John Wiley and Sons, Inc.
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering*. 3rd edition. New York: John Wiley and Sons Pte Ltd.
- Lu, K.T.; Luo, K.M.; Yeh, T.F.; Lin, P.C. 2007. *The Kinetic Parameters and Safe Operating Condition of Nitroglycerine in The CSTR of Biazzì Process*. Process Safety and Enviromental Protection, vol. 86, pages 37-47
- Luyben, W.L. 2007. *Chemical Reactor Design and Control*. New Jersey: John Wiley and Sons Pte Ltd.
- Nanda, S. 2008. *Reactors and Fundamentals of Reactors Design for Chemical Reaction*. New Delhi : M.D University
- Palanki, S.; Kolavennu, S. 2003. *Simulation of Control of a CSTR Process*. Vol. 19, No. 3, pp. 398-402. Great Britain : *Int. J. Engineering*
- Qasim, M. 2013. *Optimal Design of Multistage Chemostats in Series Using Different Microbial Growth Kinetics*. Volume 4, Issue 6, pp. 1025-1032. Abu Dhabi : *International Journal of Energy and Environment*.
- Seborg, D. E.; Mellichamp, D. A.; Edgar, T. F.; Doyle, F. J. 2011 . *Process Dynamics and Control*. New Jersey : John Wiley and Sons.
- Smith, R. 2005. *Chemical Process Design and Integration*. England : John Wiley and Sons Pte Ltd.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPENDIKS B

PERHITUNGAN VOLUME CSTR

Volume CSTR yang dipasang seacara seri pada konfigurasi seri dan parallel seri dihitung dengan menggunakan persamaan III-1

$$V_i = \frac{x_i - x_{i-1}}{(-r_G)_i} F_{G,0} \quad (\text{III-1})$$

Sedangkan reactor pada konfigurasi seri paralel reaktor yang dipasang secara paralel pada konfigurasi paralel dan parallel seri dihitung dengan menggunakan persamaan III-2

$$V = \frac{x_{out} - x_{in}}{-r_G} F_{G,0} \quad (\text{III-2})$$

Dimana

$$F_{G,0} = v_0 C_{G,0} \quad (\text{A-1})$$

Persamaan Laju reaksi sebagai berikut

$$r_G = k C_G^n C_N^m$$

$$k = A \exp\left(\frac{-E}{RT_f}\right)$$

$$n = 0,935$$

$$m = 1,117$$

$$E = 122 \text{ kJ}$$

$$C_{G,0} = 2.4269 \text{ M}$$

$$v_0 = 77.384 \text{ L/min}$$

$$R = 0.008314 \text{ kJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

Perhitung volume divariasikan terhadap konversi pada reaktor pertama dan kedua :

Tabel B.1 Perhitungan volume (L) CSTR seri

X_1	V_1	X_2	V_2	X_3	V_3	V_{Total}
0,34	0.68	0,66	1,98	0,99	150,5543	153,213
0,4	0,95	0.66	1,6	0.99	150,55	153,1
0,5	1,62	0.66	1	0.99	150,55	153,17
0,6	2,84	0,8	2,81	0.99	86,7	92,3
0,8	11,22	0,95	12,67	0.99	18,25	42,15

Tabel B.2 Perhitungan volume (L) CSTR seri-paralel

X_1	V_1	X_2	V_2	X_3	V_3	V_{Total}
0,1	0,11	0.99	203,25	0.99	203,25	406,61
0,3	0,54	0.99	358,1	0.99	358,1	306,64
0,5	1,62	0.99	112,92	0.99	112,92	227,54
0,7	5,287	0.99	67,75	0.99	67,75	140,8
0,9	32,82	0.99	22,58	0.99	22,58	77,98

Tabel B.3 Perhitungan volume (L) CSTR parallel-seri

X_1	V_1	X_2	V_2	X_3	V_3	V_{Total}
0,1	0,06	0.99	203	0.99	225,83	428,89
0,3	0,3	0.99	157,4	0.99	225,83	383,5
0,5	0,81	0.99	111,78	0.99	225,83	338,42
0,7	2,64	0.99	66,15	0.99	225,83	294,63
0,9	16,41	0.99	20,5	0.99	225,83	262,72

Tabel B.4 Perhitungan volume (L) CSTR parallel

X_1	V_1	X_2	V_2	X_3	V_3	V_{Total}
0.99	150,5543	0.99	150,5543	0.99	150,5543	451,663

APPENDIKS A

PERHITUNGAN KONSENTRASI INFLOW DAN OUTFLOW

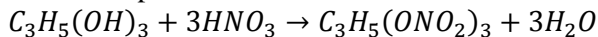
1. Penentuan *Molar Flowrate* Nitrogliserin pada *outflow*
Nitrogliserin yang akan dihasilkan sebesar 20000 ton/tahun hal ini didasarkan pada data kapasitas produksi dari parik pembuatan nitrogliserin (Mc Ketta *et all*, 1977). Sehingga Nitrogliserin yang dihasilkan tiap menit-nya adalah 14,1 kg/menit. Contoh perhitungan diambil dari konfigurasi parallel.
Sehingga,

$$F_{NG} = \frac{m_{NG} \cdot 1000}{BM_{NG}}$$

$$F_{NG} = \frac{14,1 \cdot 1000}{227}$$

$$F_{NG} = 62,143 \text{ mol/menit}$$

2. Penentuan *Mass Flowrate* Gliserin pada *Inflow*
Jika konversi gliserin yang dicapai yaitu 99%, maka berdasarkan persamaan reaksi berikut



Maka, Mol Nitrogliserin (mol/menit) yang terbentuk sama dengan Mol Gliserin yang terkonversi

$$F_{NG} = x_G \cdot F_{G,0}$$

sehingga mol gliserin (mol/menit) pada bagian *Inflow* dapat ditentukan.

$$\frac{F_{NG}}{x_G} = F_{G,0}$$

$$F_{G,0} = \frac{62,143}{0,99}$$

$$F_{G,0} = 62,6 \text{ mol/menit}$$

Mass Flowrate Gliserin dalam kg/menit dihitung sebagai berikut

$$m_{G,0} = \frac{F_{G,0} \cdot BM \text{ Gliserin}}{1000}$$

$$m_{G,0} = \frac{62,6 \cdot 92}{1000}$$

$$m_{G,0} = 5,76 \text{ kg/menit}$$

3. Perhitungan *Molar Flowrate* dan *Mass Flowrate* dari HNO_3 , H_2SO_4 , dan Gliserin Pada *Inflow*
Data Jurnal (Lu, 2007) menyebutkan bahwa Konsentrasi *Inflow* dari Gliserin dan asam nitrat masing-masing sebesar 2,43 M dan 8,86 M dengan R_N sebesar 0,51 berdasarkan data tersebut dapat dihitung ditentukan volumetrik flowrate total dalam L/menit dengan cara sebagai berikut

$$\frac{F_{G,0}}{C_{G,0}} = v_0$$

Kemudian, *Molar Flowrate* dari Asam Nitrat pada *Inflow* dapat ditentukan dengan cara

$$F_{N,0} = v_0 \cdot C_{N,0}$$

$$F_{N,0} = 25,8 \cdot 8,86$$

$$F_{N,0} = 228,45 \text{ mol/menit}$$

Sedangkan *Mass Flowrate* dari Asam Nitrat pada *Inflow* dapat ditentukan dengan cara

$$m_{N,0} = \frac{F_{N,0} \cdot BM \text{ Asam Nitrat}}{1000}$$

$$m_{N,0} = \frac{228,45 \cdot 63}{1000}$$

$$m_{N,0} = 14,4 \text{ kg/menit}$$

Mass Flowrate H₂SO₄ pada *Inflow* ditentukan berdasarkan

$$m_{AS,0} = \frac{m_{N,0} - R_N m_{N,0}}{R_N}$$

$$m_{AS,0} = \frac{14,4 - 0,51 \cdot 14,4}{0,51}$$

$$m_{AS,0} = 13,8 \text{ kg/menit}$$

Molar Flowrate H₂SO₄ pada *Inflow* dihitung berdasarkan persamaan

$$F_{AS,0} = \frac{m_{AS,0} \cdot 1000}{BM_{NG}}$$

$$F_{AS,0} = \frac{13,8 \cdot 1000}{227}$$

$$F_{AS,0} = 141,1 \text{ mol/menit}$$

4. Perhitungan *Molar Flowrate* dari HNO₃ dan Gliserin Pada *Outflow*

Perhitungan *Molar Flowrate* dari Gliserin dihitung dengan persamaan

$$F_G = F_{G,0} (1 - x_G)$$

$$F_G = 62,6 \cdot (1 - 0,99)$$

$$F_G = 0,459 \text{ mol/menit}$$

Sedangkan *Molar Flowrate* dari HNO₃ dihitung dengan persamaan

$$F_N = F_{G,0} \left(\frac{C_{N,0}}{C_{G,0}} - 3 \cdot x_G \right)$$

$$F_N = 62,6 \cdot \left(\frac{8,86}{2,43} - 3 \cdot 0,99 \right)$$

$$F_N = 42,02 \text{ mol/menit}$$

BIODATA PENULIS



Devanata Patria Kresna, Lahir di Kota Samarinda pada tanggal 23 Desember 1993. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh yaitu SD Negeri Pepelegi I tahun 1999-2003, SD Negeri Sekardangan tahun 2003-2005, SMP Negeri 1 Sidoarjo tahun 2005- 2008, SMA Negeri 2 Sidoarjo tahun 2008- 2011, dan terakhir menempuh Sarjana di Teknik Kimia FTI- ITS tahun 2011- 2015.

Penulis ketika menpuh tahap sarjana pernah menjabat staff Entrepreneurship Development Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia FTI-ITS tahun 2012- 2013. Penulis memiliki pengalaman kerja di PT Cheil Jedang Indonesia pada bagian Utility tahun 2014. Penulis dapat dihubungi melalui e- mail devanatapatria@gmail.com



Muhammad Arisyi Hawari, lahir di kota Samarinda pada tanggal 13 Juli 1994. Pendidikan formal yang telah ditempuh yaitu SD Muhammadiyah 1 Samarinda tahun 2000-2005, SMPN 1 Samarinda tahun 2005-2008, SMAN 1 Samarinda tahun 2008-2011, dan terakhir pendidikan Sarjana di Teknik Kimia FTI-ITS. Penulis pernah melakukan kerja praktik di Badak LNG, Bontang. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail arisyih@gmail.com